第38卷 第5期
2021年9月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

水分胁迫对设施延迟栽培葡萄根际土壤有机氮及土壤酶活性的影响

杨昌钰[1]，张 芮[1]，蔺宝军[2]，董 博[3]，高彦婷[1]，
李红霞[1]，张彩霞[1]，王喜红[1]
（1. 甘肃农业大学水利水电工程学院，甘肃 兰州 730070；2. 大禹节水集团股份有限公司，甘肃 酒泉 735000；
3. 甘肃省农业科学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：为探讨不同水分胁迫条件下设施栽培葡萄根际土壤基本理化性质与有机氮组分及土壤酶活性的变化规律，并分析三者之间的相关关系，为甘肃河西地区设施延迟栽培葡萄制定合理的胁迫灌溉模式提供一定的参考依据。采用水分胁迫单因素完全随机试验设计，运用Bremner法测定着色成熟期葡萄根际土层中有机氮组分含量及土壤基本理化性质、全生育期土壤酶活性在不同水分胁迫(中度W1、轻度W2、充分供水W3)下的变化特征。结果表明：(1) 全生育期中度和轻度水分胁迫对设施延迟栽培葡萄根际土壤全氮、铵态氮、全磷、有机质以及有机碳无显著影响，却降低了葡萄根际土壤微生物生物量碳、氮含量；新梢生长期和果实膨大期土壤硝态氮和速效磷含量分别为12.06 $mg\cdot kg^{-1}$和28.88 $mg\cdot kg^{-1}$，显著低于充分供水处理。(2) 中度和轻度水分胁迫对葡萄全生育期根际土壤过氧化氢酶活性无显著性影响，而对果实膨大期和着色成熟期的脲酶、蔗糖酶含量均呈现不同程度的抑制效果。(3) 各处理有机氮组分的含量大小顺序为非酸解态氮 > 酸解氨基酸态氮 > 酸解铵态氮 > 酸解未知态氮 > 酸解氨基糖态氮；轻度和中度水分胁迫均有助于葡萄根际土壤酸解总氮的积累，比对照分别提高21.16%和10.34%。(4) 相关分析表明，蔗糖酶与生物量碳呈显著正相关；RDA分析显示硝态氮、铵态氮为影响土壤有机氮组分变化的最主要环境因子，全氮次之。

关键词：水分胁迫；设施栽培；理化性质；土壤酶活性；有机氮组分

氮素不仅是地球上最丰富的化学元素之一，也是限制植物生长的主要营养因子之一。有机氮是土壤氮素的主要存在形态，也是矿质态氮的源和库，在土壤养分保蓄、氮素循环及粮食生产中发挥重要作用[1]，其组成成分复杂，主要以氨基酸氮、氨基糖态氮、酸解铵态氮、酸解未知氮及非酸解氮等形式直接或间接影响土壤氮素有效性[2]。有机态氮含量和分布不同程度受土壤类型、土壤层次、根际环境、施肥、灌水和耕作状况等诸多因素影响[3-4]，而水是作物生长的必需因素。在设施条件下，传统粗放的水肥管理加上特殊的设施环境（室内高温高湿、缺少雨水淋洗），导致水、氮利用效率低，土壤供氮潜力不足等问题日益突出[5]。相关研究表明不同灌溉方式对酸解氨基酸氮、酸解氨基糖氮和酸解铵态氮占全氮的比例影响显著，滴灌和渗灌均高于沟灌[6]；吴汉卿等[7]研究表明，灌水下限、水氮交互对设施土壤全氮、矿质氮和总有机氮及有机氮组分影响均达到极显著响应；Tian等[8]通过培养试验的研究表明，增加降雨量会同时降低土壤酸解氨基酸氮和铵态氮，同时增加酸解氨基糖氮含量，进而提高土壤氮回收率及土壤供氮潜力。

土壤酶是植物生长发育的活性库，参与土壤中重要营养元素的生物化学循环、土壤有机质及矿物质的转化过程等[9]，其活性的高低与土壤氮素转化强度及土壤供氮能力密切相关。脲酶是特异催化尿素水解成二氧化碳和氨的酶，其活性能够反映土壤的供氮能力；蔗糖酶是评价土壤健康状况和肥力水平的营养物质；过氧化氢酶参与土壤氧化还原过

收稿日期：2020-12-23； **修订日期：**2021-02-21
基金项目：国家自然科学基金项目(51769001)；甘肃农业大学伏羲青年英才项目(Gaufx-03Y10)；甘肃省陇原青年创新创业人才项目(2019-9)
作者简介：杨昌钰(1996-)，女，硕士，主要从事节水灌溉与水资源利用研究. E-mail: 402904020@qq.com
通讯作者：张芮. E-mail: zhr_1029@163.com

程,在一定程度上可表征土壤腐化强度和有机质积累程度[10]。孙婉等[11]研究表明根区部分灌溉可以提高土壤酶活性,而且干旱一侧的土壤含水量较低,酶活性也相应较弱。Schimel等[12]通过室内培养土壤微生物试验,发现干旱处理条件下土壤微生物呼吸速率和微生物量均较低,表明土壤微生物群落受水分影响较大,长期的干旱可能降低土壤微生物多样性及其活性。

设施栽培葡萄是利用春季避光、冬季增温的栽培方式,增强土壤的蓄热、保温、保湿能力,改善土壤的理化性质,提高土壤的质量和生产力,延迟葡萄的整个生育期,调节果实成熟期,打破传统葡萄种植的季节性和地域性限制而满足葡萄鲜果多元化、多层次消费的绿色农业生产方式,是甘肃河西走廊地区葡萄产业的基础性支柱,但该地区降水量较少,水资源严重短缺的现状是限制葡萄生长发育的主要因素。目前,关于水分调控对酿酒葡萄影响的研究虽已有报道[13-14],但这些研究多集中于葡萄果实品质、产量、水分利用效率、土壤生物学特性等方面,且很少考虑水分胁迫对设施栽培葡萄根际土壤有机氮组分及酶活性的影响。本研究通过开展滴灌不同水分胁迫程度下设施栽培葡萄试验,研究水分调控下河西地区温室葡萄根际土壤基本理化性质及有机氮组分、土壤酶活性的变化行为及相互关系,阐明不同水分调控下土壤的供氮潜力,以期为深入开展土壤氮循环和供氮能力的研究并制定科学合理的水分调控措施提供理论参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

试验于2019年在甘肃省兰州市永登县设施葡萄栽培试验基地进行(102°38′E,36°12′N),海拔为2005 m,平均气温为5.9 ℃,年平均降水量为290 mm,蒸发量约为4500 mm,年日照时数为2659 h,平均无霜期为121 d,属典型的冷凉型半干旱大陆季风气候。试验区20 cm处土壤容重为1.41 g·cm^{-3},体积含水率为29.2%,pH为8.2。

1.2　研究对象

供试材料为7 a树龄的欧亚葡萄品种“红地球”,葡萄的架势为矮单篱架,树形为单臂Y型。葡萄栽培设施为8 m×80 m的土墙草帘塑料温室大棚,行距2.0 m,株距0.8 m,每行(每个处理)8株葡萄,行向垂直于温室走向,随机布设试验小区。

1.3　试验设计

根据已有研究将葡萄生育期划分为萌芽期、新梢生长期、开花期、果实膨大期和着色成熟期5个时期,参考已有文献和前几年该试验点研究资料[15],试验以水分胁迫单因素为主设置3个供水水平,分别为:W1为中度水分胁迫、W2为轻度水分胁迫、W3为充分供水水平(对照处理),各处理重复3次。具体试验设计如表1所示。

试验采用1管1行控制模式的滴灌方式,滴头流量为Q=3 L·h^{-1},计划湿润层深度为100 cm,湿润比为0.5。采用全生育期灌水方式(天然降雨量为330 mm),当实测土壤含水率降低至下限值时灌水,各处理灌水定额均为270 m^3·hm^{-2},用每个小区安装的阀门和水表控制灌水。为防止小区之间土壤水横向扩散,在小区边界垂直铺设厚度为2 mm的聚乙烯土工膜,铺设深度100 cm。根据当地葡萄栽培管理情况,各地块施肥、修剪、病虫害防治、除草等基本一致。

1.4　测试指标及方法

1.4.1　样品采集　试验分3次采样,分别在2019年6月15日(新梢生长期)、8月15日(果实膨大期)和10

表1　试验设计

Tab. 1　Experimental design

生育期	不同处理的土壤含水率上限、下限($\theta f_{上}$、$\theta f_{下}$)					
	W1		W2		W3	
	$\theta f_{上}$/%	$\theta f_{下}$/%	$\theta f_{上}$/%	$\theta f_{下}$/%	$\theta f_{上}$/%	$\theta f_{下}$/%
萌芽期(05-15—05-24)	80	55	90	65	100	75
新梢生长期(05-25—06-22)	80	55	91	66	100	75
开花期(06-23—07-15)	80	55	92	67	100	75
果实膨大期(07-16—09-14)	80	55	93	68	100	75
着色成熟期(09-15—12-18)	80	55	94	69	100	75

月15日(着色成熟期),在每个试验小区离葡萄根系20 cm处随机设5个采样点,去除表面凋落物和杂质,取葡萄根际20 cm处的土壤,五点充分混匀后迅速过2 mm筛,然后分成两份装入无菌保鲜袋用保鲜盒冷藏立即带回实验室,一份室温风干,一份保存于4 ℃冰箱做鲜样分析,用于土壤基本理化性质、土壤有机氮组分的测定,各指标测定均于取样完成后一个月之内完成。

1.4.2 土壤基本理化性质及酶活性的测定 土壤有机质采用重铬酸钾容量法,全氮采用凯氏定氮法,全磷采用酸溶-钼锑抗比色法,速效磷采用盐酸-硫酸浸提法,铵态氮、硝态氮及含量采用紫外分光光度法测定,有机碳采用0.5 mol·L^{-1} HCl去碳酸盐后利用碳氮联合分析仪测定,微生物量碳氮采用0.5 mol·L^{-1} K_2SO_4浸提后利用碳氮联合分析仪测定。

土壤蔗糖酶活性采用3、5二硝基水杨酸比色法测定以24 h后5 g干土生成葡萄糖的mg数表示。土壤脲酶活性测定采用靛酚蓝比色法测定,以24 h后5 g风干土壤中NH_3-N的mg数表示。土壤过氧化氢酶采用$KMnO_4$液滴定法测定,以2 g风干土壤20 min内消耗的0.02 mol·L^{-1} $KMnO_4$体积数表示。

1.4.3 土壤有机氮组分的测定 土壤有机氮分级采用Bremner方法[2]:酸解总氮(Acidolyzable Total N, ATN)采用凯氏定氮法测定;氨基酸态氮(Amino Acid N, AAN)采用茚三酮氧化、磷酸盐-硼酸盐缓冲液蒸馏法测定;酸解铵态氮+氨基糖态氮(Acidolyzable Ammonia N, AN+Amino Sugar N, ASN)采用磷酸盐-硼酸盐缓冲液蒸馏法测定;酸解铵态氮采用氧化镁蒸馏法测定;酸解未知态氮(Acidolyzable Unknown-N, UAN)、未酸解氮(Un-acidolyzable N, UN)和氨基糖态氮则采用差减法求得。

酸解未知态氮(mg·kg^{-1})=酸解总氮-酸解铵态氮-氨基酸态氮-氨基糖态氮;

未酸解氮(mg·kg^{-1})=全氮-酸解总氮;

氨基糖态氮(mg·kg^{-1})=(酸解铵态氮+氨基糖态氮)-酸解铵态氮。

1.5 数据分析

采用Excel 2010对土壤基本理化性质、有机氮组分含量进行统计分析,用SPASS 20.0软件对土壤基本理化性质、有机氮组分、酶活性进行显著性和相关性分析,用Canoco 5.0软件对土壤环境因子与有机氮组分间进行RDA冗余分析并绘图。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对葡萄根际土壤理化性质的影响

滴灌不同水分胁迫下葡萄根际土壤基本理化性质的变化规律如表2所示,整体来看,不同水分胁迫处理下土壤有机碳、全氮、铵态氮、全磷、有机质含量在整个生育期均无显著性差异(P<0.05);土壤微生物生物量碳(Microbial Biomass Carbon, MBC)在整个生育期内呈现先增大后减小的趋势,并且发现土壤水分对MBC影响显著,中度水分胁迫下,土壤MBC含量从葡萄新梢生长期始到着色成熟期均显著(P<0.05)低于对照,而轻度水分胁迫随着胁迫时间延长,到葡萄着色成熟期时才开始降低土壤MBC含量;葡萄根际土壤微生物生物量氮(Microbial Biomass Nitrogen, MBN)总体变化也呈现先增大后减小的变化趋势,在新梢生长期和果实膨大期,各处理间土壤MBN不存在显著性差异,到着色成熟期时,W1、W2、W3处理的土壤MBN依次为13.32 mg·kg^{-1}、13.69 mg·kg^{-1}、16.43 mg·kg^{-1},W1和W2处理显著低于W3;新梢生长期和果实膨大期,持续轻度和中度水分胁迫对土壤硝态氮含量的储存不利,而到着色成熟期葡萄根际土壤硝态氮含量随着水分胁迫时间的延长对水分胁迫程度有了一定的适应性和胁变修复能力,W1、W2、W3处理间土壤硝态氮含量不存在显著性差异;土壤速效磷呈现先增大后稳定变化趋势,新梢生长期和果实膨大期,W3处理的土壤速效磷含量显著高于W1、W2处理(40.28 mg·kg^{-1})与W3和W1处理间不存在显著性差异,到着色成熟期时,W1、W2、W3处理间土壤速效磷含量均无显著性差异,说明,土壤速效磷含量对水分胁迫也有一定的修复性。

2.2 水分胁迫对葡萄根际土壤酶活性的影响

由图1可知,土壤蔗糖酶在整个生育期呈现上升趋势,6月15日,W2、W1处理的土壤蔗糖酶活性显著(P<0.05)低于W3处理,说明此时水分胁迫抑制根际蔗糖酶活性,在8月15日和10月15日,W2处理的土壤蔗糖酶活性与W3间无显著差异,均显著(P<0.05)高于W1处理,说明土壤蔗糖酶能够逐渐适应轻度水分胁迫所造成的土壤环境差异;土壤过氧化氢酶在整个生育期呈下降趋势,且整个生育期各处理间无显著性差异;脲酶相对含量最少,6月

表2　滴灌不同水分胁迫下土壤基本理化性质变化

Tab. 2　Changes in basic physical and chemical properties of soil under different water stresses under drip irrigation

参数	处理	2019年6月15日 新梢生长期	2019年8月15日 果实膨大期	2019年10月15日 着色成熟期
有机碳/(g·kg^{-1})	W1	9.30±0.99a	9.41±0.56a	9.08±0.56a
	W2	9.53±0.93a	9.99±0.36a	9.69±0.49a
	W3	9.57±0.33a	10.60±0.85a	9.53±0.69a
微生物生物量碳/(mg·kg^{-1})	W1	87.15±4.40b	140.48±4.08b	131.52±6.31b
	W2	114.46±11.52ab	158.70±8.94a	139.33±6.24b
	W3	123.64±21.45a	161.46±7.74a	154.97±9.61a
微生物生物量氮/(mg·kg^{-1})	W1	10.24±0.47a	14.61±1.42a	13.32±1.66b
	W2	11.72±1.97a	16.71±1.32a	13.69±1.28b
	W3	12.23±2.79a	15.87±0.96a	16.43±0.74a
全氮/(g·kg^{-1})	W1	0.83±0.03a	0.83±0.03a	0.84±0.01a
	W2	0.82±0.03a	0.82±0.03a	0.83±0.01a
	W3	0.83±0.03a	0.81±0.03a	0.82±0.01a
硝态氮/(mg·kg^{-1})	W1	12.06±0.97b	15.85±0.61b	12.49±1.24a
	W2	12.26±0.56b	17.00±1.18ab	12.28±0.76a
	W3	14.23±0.74a	18.52±0.67a	13.80±1.21a
铵态氮/(mg·kg^{-1})	W1	3.65±0.76a	4.50±0.63a	3.53±0.41a
	W2	3.42±0.29a	4.47±0.32a	3.83±0.38a
	W3	3.88±0.35a	4.88±0.84a	3.57±0.28a
全磷/(g·kg^{-1})	W1	0.82±0.10a	0.83±0.01a	0.82±0.04a
	W2	0.79±0.06a	0.84±0.04a	0.85±0.09a
	W3	0.77±0.21a	0.79±0.01a	0.84±0.06a
速效磷/(mg·kg^{-1})	W1	28.88±1.91b	39.24±1.08b	41.30±1.63a
	W2	30.88±1.88ab	40.28±1.63ab	37.66±8.19a
	W3	34.68±2.50a	44.66±3.45a	46.81±2.15a
有机质/(g·kg^{-1})	W1	16.03±1.71a	16.22±0.95a	15.64±1.69a
	W2	16.44±1.61a	17.21±0.62a	16.71±1.48a
	W3	16.49±0.57a	18.27±1.48a	16.42±1.19a

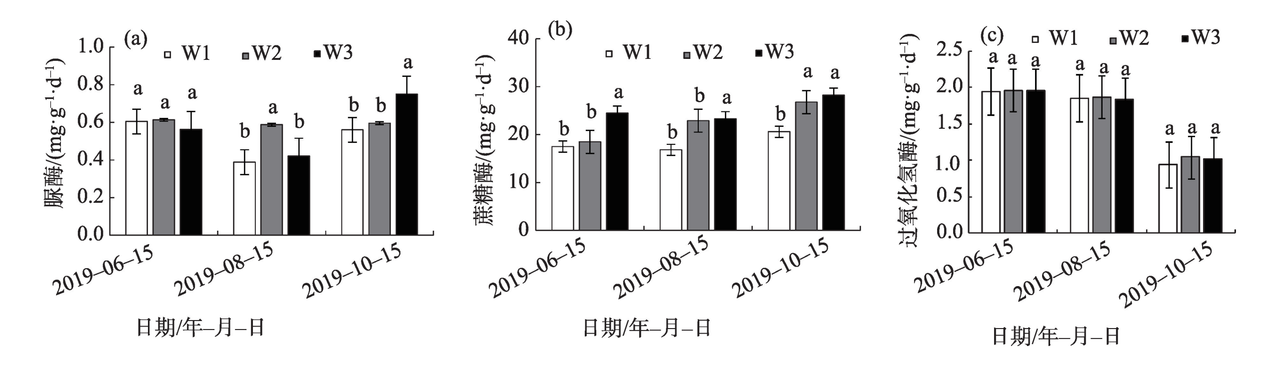


图1　滴灌不同水分胁迫下土壤脲酶、蔗糖酶及过氧化氢酶活性含量变化

Fig. 1　Changes of soil enzyme activity content under different water stresses in drip irrigation

15日各处理间不存在显著性差异，8月15日W2处理的脲酶显著高于W1与W3，但随胁迫时长的增加W1、W2处理的脲酶均显著低于对照，且W1与W2间不存在显著性差异。

2.3　水分胁迫对葡萄根际土壤有机氮组分的影响

分析不同水分胁迫下土壤有机氮组分含量变

化，如图2所示，土壤酸解总氮(ATN)含量W1和W2处理均显著高于W3(对照)处理，分别较W3高出10.3%、21.2%，且W2处理显著高于W1，说明轻度和中度水分胁迫均有助于葡萄根际土壤ATN的积累，轻度水分胁迫对ATN影响效果最明显；酸解氨基酸态氮(AAN)、酸解氨基糖态氮(ASN)和酸解铵态氮(AN)3种有机氮含量在不同水分处理下均不存在显著性差异，说明中度、轻度水分胁迫并未影响AAN、ASN和AN含量的变化，并且发现ASN占比最小，依次为19.31 mg·kg^{-1}、26.83 mg·kg^{-1}和21.71 mg·kg^{-1}；W1、W2和W3处理下酸解未知态氮(AUN)含量分别为130.81 mg·kg^{-1}、152.31 mg·kg^{-1}和106.30 mg·kg^{-1}；W2处理显著高于W1显著高于W3(对照)处理，说明AUN含量在中度水分胁迫下达到最大值；而W2和W1处理的未酸解态氮(UN)均显著低于对照，且W2显著低于W1，说明水分胁迫会抑制UN含量的变化。

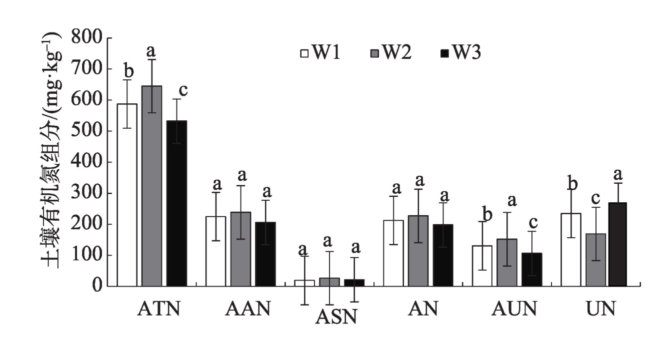


图2 滴灌不同水分胁迫下土壤有机氮组分含量变化

Fig. 2 Changes of soil organic nitrogen content under different water stresses under drip irrigation

2.4 土壤理化性质与土壤酶活性相关性分析

表3分析了了葡萄根际土壤基本理化指标与土壤酶活性间的相关关系，MBC与MBN呈极显著($P<0.01$)正相关，与蔗糖酶呈显著($P<0.05$)正相关；全氮与蔗糖酶、脲酶过氧化氢酶间均呈负相关关系；并且铵态氮、全磷与脲酶间也具有负相关性，硝态氮与过氧化氢酶间也呈负相关关系。

2.5 土壤环境因子与有机氮组分之间的关系

RDA分析方法是一种多变量的降维排序，也能进行非线性多元直接梯度分析，能够在多变量组合中仍保持单个变量的统计学特征描述，根据各个单独变量对生物群落结构的贡献率进行变量的取舍[16]。如表4所示，土壤环境变量对有机氮组分方差解释率和贡献率大小排序依次为：速效磷>硝态氮>铵态氮>有机质>全氮>全磷>有机碳>蔗糖酶>过氧化氢酶>脲酶，而MBC、MBN以及脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶的解释率和贡献率最小，均为1.7%，且P值远大于0.1，均未通过蒙特卡洛检验，因此，排除MBC、MBN、过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶，取其余环境因子进行冗余(RDA)分析。

土壤基本理化性质与土壤有机氮组分的冗余分析见图3，环境因子对有机氮组分的解释率为81.5%，第一轴解释率为64.03%，第二轴解释率为19.53%。未酸解氮与速效磷、硝态氮呈正相关，与其余环境因子呈负相关；酸解铵态氮、氨基酸态氮、酸解总氮与氨态氮、全氮呈正相关，与全磷、有机

表3 土壤各理化指标间与土壤酶活性间相关关系

Tab. 3 Correlation between soil physical and chemical indexes and soil enzyme activity

	有机碳	MBC	MBN	全氮	硝态氮	铵态氮	全磷	速效磷	有机质	脲酶	蔗糖酶	过氧化氢酶
有机碳	1	0.017	0.009	−0.633	0.534	−0.012	−0.2	−0.234	1.000**	0.351	0.369	0.041
MBC		1	0.906**	−0.587	0.561	0.082	0.08	0.306	0.015	0.517	0.790*	0.436
MBN			1	−0.539	0.415	−0.057	−0.165	0.439	0.007	0.578	0.596	0.456
全氮				1	−0.772*	−0.103	0.081	−0.29	−0.632	−0.422	−0.556	−0.016
硝态氮					1	−0.051	0.027	0.108	0.531	0.407	0.474	−0.224
铵态氮						1	−0.373	0.197	−0.01	−0.285	0.188	0.015
全磷							1	−0.353	−0.2	−0.005	0.165	0.218
速效磷								1	−0.234	0.433	0.032	−0.144
有机质									1	0.351	0.369	0.044
脲酶										1	0.606	0.418
蔗糖酶											1	0.604
过氧化酶												1

注：**表示在0.01水平(双侧)上显著相关；*表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

表4 交互式正向选择分析结果

Tab. 4 Analysis "interactive-forward-selection" results

环境因子	解释率/%	贡献率/%	F	P
速效磷	31.2	31.2	3.2	0.076
硝态氮	23.3	23.3	3.1	0.03
铵态氮	19.8	19.8	3.8	0.024
有机质	10.5	10.5	2.7	0.074
全氮	7.4	7.4	2.9	0.076
全磷	4.2	4.2	2.4	0.242
有机碳	1.9	1.9	1.1	0.48
微生物N	1.7	1.7	<0.1	1
微生物C	1.7	1.7	<0.1	1
蔗糖酶	1.7	1.7	<0.1	1
过氧化氢酶	1.7	1.7	<0.1	1
脲酶	1.7	1.7	<0.1	1

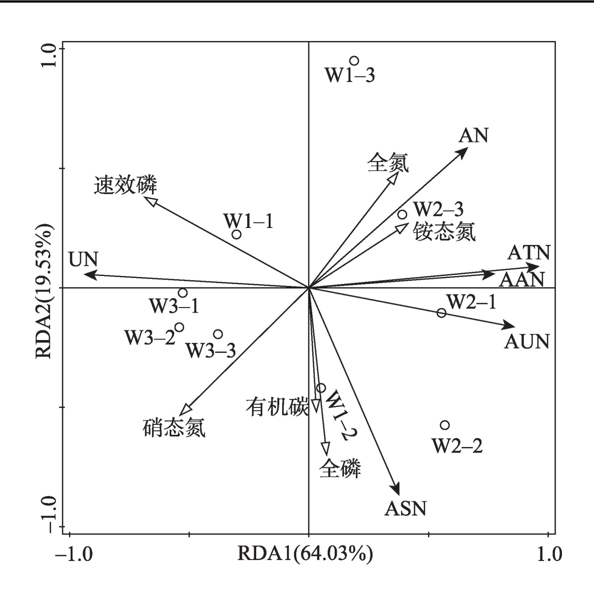


图3 土壤基本理化性质与土壤有机氮组分的冗余分析

Fig. 3 Redundant analysis of basic physical and chemical properties of soil and soil organic nitrogen components

碳、速效磷、硝态氮呈负相关;酸解未知氮与全磷、有机碳和铵态氮呈正相关,氨基糖态氮与全磷、有机碳、硝态氮、全氮呈正相关,与其余环境因子呈负相关。整体而言,硝态氮和铵态氮与有机氮组分间呈极显著正相关,其贡献率分别为23.3%、19.8%,说明二者对有机氮组分变化影响最大。

3 讨 论

本研究发现中度和轻度水分胁迫处理能够降低葡萄新梢生长期和果实膨大期土壤硝态氮和速效磷含量,而有机碳、全氮、全磷、有机质含量与充分供水之间均无显著性差异;王淑君[17]在对盆栽花生的研究中发现,水分胁迫对两年收获期花生根际土壤全氮无显著影响,这与本实验研究结果一致;而肖列[18]指出,水分胁迫会通过影响植物根系分泌物形成以及植物光合产物和生物量分配进而影响土壤有机碳含量,与本实验研究结果不一致,一方面可能因为葡萄根际分泌物会首先供给根际土壤微生物利用和繁殖,另一方面可能与植物的种类以及干旱时间、干旱程度,土壤中碳源代谢、氮素转化涉及的复杂的生化过程有关[19];因此水分胁迫对土壤总有机碳含量没有显著影响,并且生育期内其含量波动较小,土壤有机质变化与水分胁迫的响应机理也与之相似。有学者研究认为节水灌溉可引起土壤干湿交替往复,从而影响与土壤健康状况相关的MBC及MBN的变化[20],本实验发现中度水分胁迫不利于全生育期MBC含量的积累,而轻度水分胁迫到葡萄着色成熟期时才开始降低MBC含量;着色成熟期时各水分胁迫处理均会降低MBN含量;薛冉[21]、刘方春[22]等研究表明水分胁迫会降低小麦、核桃等根际土壤MBC、MBN,Sanaullah等[23]发现干旱胁迫会降低根区土壤微生物量,均与本实验研究结果相一致,这可能是因为水分胁迫植物根系活力降低,进而引起植物根系分泌的各类生物量减少,但是也有研究发现受旱植物根系分泌的水溶性化合物和粘液物质会促进微生物生物量产生[23],而樊利华等指出,这与作物种类、土壤环境状况等也有很大关系[19]。

不同水分胁迫梯度对果实膨大期和着色成熟期的脲酶活性均不利,轻度水分胁迫会降低整个生育期的蔗糖酶活性,而不同水分胁迫对全生育期过氧化氢酶活性无显著性影响;陈娟等[24]研究表明,干旱胁迫会降低生姜根际土壤蛋白酶、脲酶、蔗糖酶活性,与本实验结果一致,这可能因为根际土壤状况因水分含量的减少变为厌氧型微域,导致底物扩散和氧气含量的限制使脲酶和蔗糖酶的活性受到抑制[25];周来良[26]发现干旱胁迫下不仅降低大叶相思的脲酶、蔗糖酶活性均降低,还会抑制过氧化氢酶活性,而陶佳[27]对干旱胁迫下苹果幼树根际土壤酶活性的研究发现,干旱胁迫显著增强苹果根际基质中过氧化氢酶和转化酶活性,与本实验结果有所不同,这可能因为干旱胁迫下根际土壤酶活性会因不同植物种类及不同胁迫程度所产生的根际沉积物和凋落物不同而异[25]。

有机氮是土壤氮素的主要存在形态,因其结构、形态的不同,土壤中各有机氮组分含量及其在全氮中的分配比例也常因施肥、灌溉、土壤类型和作物种类等因素的不同而有所变化。姬景红等[6]研究表明,不同灌溉方式对酸解氨基酸氮、酸解氨基糖氮和酸解铵态氮占全氮的比例影响显著,滴灌和渗灌均高于沟灌;吴汉卿等[7]研究表明,灌水下限和水氮交互对设施土壤有机氮组分影响均达到极显著水平。本实验研究表明,酸解氨基酸态氮、酸解氨基糖态氮和酸解铵态氮3种有机氮含量对水分胁迫的变化响应不敏感,中度、轻度水分胁迫与充分供水之间均不存在显著性差异;轻度和中度水分胁迫均有助于葡萄根际土壤酸解总氮的积累,轻度水分胁迫对酸解总氮影响效果最明显,这可能源于水分胁迫通过调控土壤水、气、热状况及根系分泌物影响着土壤微生物活动进而决定有机氮转化和运移过程[28];中度水分胁迫对酸解未知态氮影响最显著,而不同水分胁迫均会抑制非酸解态氮含量的积聚,这可能因为非酸解态氮是以杂环氮或与杂环和芳香环结合态存在,而杂环或芳香环类化合物均为稳定性氮化合物,导致其不易被矿化[29]。各处理有机氮组分的含量以及占全氮百分比高低顺序为非酸解态氮 > 酸解氨基酸态氮 > 酸解铵态氮 > 酸解未知态氮 > 酸解氨基糖态氮,这与前人研究结果相一致[30],说明即使在不同的根系土壤微域中,土壤有机氮组分的分布特征仍然存在一定的相似性。

伏星舟等[31]发现,土壤酶参与土壤有机碳、全氮、矿质氮等理化指标的生物转化与循环,本实验研究发现蔗糖酶与MBC呈显著正相关。铵态氮和硝态氮作为植物直接利用土壤N的主要形式,也是氮在土壤分解、转化和积累过程中的最重要形态[32],RDA分析显示,硝态氮、铵态氮为影响土壤有机氮组分变化的主要环境因子,全氮为次要环境因子,大量研究证实全氮与微生物氮有密切关系[33]。

4 结 论

全生育期中度和轻度水分胁迫对设施延迟栽培葡萄根际土壤全氮、铵态氮、全磷、有机质以及有机碳无显著影响;新梢生长期和果实膨大期,水分胁迫对土壤硝态氮和速效磷含量显著低于充分供水处理,而着色成熟期与充分供水间无显著差异;全生育期水分胁迫降低了葡萄根际土壤微生物生物量碳、氮含量。此外,水分胁迫对葡萄全生育期根际土壤过氧化氢酶活性无显著性影响,而中度、轻度水分胁迫对果实膨大期和着色成熟期的脲酶、蔗糖酶含量均呈现不同程度的抑制效应。

不同水分胁迫均会抑制非酸解态氮含量的汇聚,而轻度水分胁迫下酸解氨基酸态氮、酸解氨基糖态氮、酸解铵态氮、酸解未知态氮占全氮百分比最大,说明全生育期轻度水分胁迫为当地设施延迟栽培葡萄土壤有机氮组分提升最佳的水分调控处理,可达到节水和改善设施农田土壤微生态环境的效果。RDA分析结果显示,全氮与酸解铵态氮呈显著正相关,硝态氮、铵态氮是影响土壤有机氮组分变化的最重要的环境因子。

参考文献(References):

[1] Li S X, Wang Z H, Miao Y F, et al. Soil organic nitrogen and is contribution to crop production[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(10): 2061–2080.

[2] Bremner J M, Inorganic forms of nitrogen[J]. Methods of Soil Analysis, 1965.

[3] Kaur J, Singh J P. Long-term effects of continuous cropping and different nutrient management practices on the distribution of organic nitrogen in soil under rice-wheat system[J]. Plant, Soil and Environment, 2014, 60(2): 63–68.

[4] Tian J, Wei K, Condron L M, et al. Effects of elevated nitrogen and precipitation on soil organic nitrogen fractions and nitrogen-mineralizing enzymes in semi-arid steppe and abandoned cropland[J]. Plant and Soil, 2017, 417: 217–229.

[5] Li Y, Sun Y, Liao S, et al. Effects of two slow-release nitrogen fertilizers and irrigation on yield, quality, and water-fertilizer productivity of greenhouse tomato[J]. Agricultural Water Management, 2017, 186: 139–146.

[6] 姬景红, 刘双全, 李玉影, 等. 黑龙江省不同类型旱田土壤有机氮组分含量及分布[J]. 黑龙江农业科学, 2020, 43(9): 38–41. [Ji Jinghong, Liu Shuangquan, Li Yuying, et al. Content and distribution of soil organic nitrogen in different types of farmland in Heilongjiang Province[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2020, 43(9): 38–41.]

[7] 吴汉卿, 杜世宇, 高娜, 等. 水氮调控对设施土壤有机氮组分、全氮和矿质氮的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 212–219. [Wu Hanqing, Du Shiyu, Gao Na, et al. Effects of water and mitrogen regulation on soil organic nitrogen cractions, total nitrogen and mineral nitrogen in greenhouse soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(6): 212–219.]

[8] Tian J, Wei K, Condron L M, et al. Effects of elevated nitrogen and precipitation on soil organic nitrogen fractions and nitrogen-mineralizing enzymes in semi-arid steppe and abandoned cropland[J].

Plant & Soil, 2017, 417, 217-229.

[9] Dick W A. Influence of long-term tillage and crop rotation combination on soil enzyme activities[J]. Soil Science Society of America Journal, 1984, 48: 569-574.

[10] 杨万勤, 钟章成, 陶建平, 等. 缙云山森林土壤酶活性与植物多样性的关系[J]. 林业科学, 2001, 47(4): 124-128. [Yang Wanqin, Zhong Zhangcheng, Tao Jianping, et al. Study on relationship between soil enzymic activities and plant species diversity in forest ecosystem[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 47(4): 124-128.]

[11] 孙婉, 刘素君, 冯健超, 等. 水分和氮源类型对小麦根际土壤酶活性和氮素利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(8): 2583-2592. [Sun Wan, Liu Sujun, Feng Jianchao, et al. Effects of water and nitrogen source types on soil enzyme activity and nitrogen utilization efficiency of wheat[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(8): 2583-2592.]

[12] Schimel J P, Gulledge J M, Clein-Curley J S, et al. Moisture effects on microbial activity and community structure in decomposing birch litter in the Alaskan taiga[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(6): 831-838.

[13] 牛最荣, 赵霞, 张芮, 等. 水分胁迫对日光温室葡萄叶片生理变化及果实发育的影响[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(2): 265-271. [Niu Zuirong, Zhao Xia, Zhang Rui, et al. Effects of water stress at different growth stages on leaf physiological changes and fruit development of grape in greenhouse[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(2): 265-271.]

[14] 蔺宝军, 张芮, 董博, 等. 水分优化对温室葡萄产量及土壤生物学特性的影响[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 126-133. [Lin Baojun, Zhang Rui, Dong Bo, et al. Effect of irrigation water optimization on greenhouse grape yield and soil biological properties[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 126-133.]

[15] Zhang R, Chen L, Niu Z, et al. Water stress affects the frequency of Firmicutes, *Clostridiales* and *Lysobacter* in rhizosphere soils of greenhouse grape[J]. Agricultural Water Management, 2019, 226: 105776.

[16] Brak C J T, Smilauer P J. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows (Version 4)[M]. Wageningen: Centre for Biometry, 1998, 351.

[17] 王淑君. 生物炭基肥和水分胁迫对花生产量及土壤养分利用的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018. [Wang Shujun. Effects of Biochar Base Fertilizer and Water Stress on Peanut Yield and Soil Nutrient Utilization[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.]

[18] 肖列. CO_2浓度升高、干旱胁迫和施氮对白羊草生长和根际微生物的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. [Xiao Lie. Effects of Elevated CO_2, Drought Stress and Nitrogen Application on the Growth and Rhizosphere Microorganisms of White Leymus chinensis[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2015.]

[19] 樊利华, 周星梅, 吴淑兰, 等. 干旱胁迫对植物根际环境影响的研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25(5): 1244-1251. [Fan Lihua, Zhou Xingmei, Wu Shulan, et al. Research advances on the effects of drought stress in plant rhizosphere environments [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2019, 25(5): 1244-1251.]

[20] 李忠佩, 吴晓晨, 陈碧云. 不同利用方式下土壤有机碳转化及微生物群落功能多样性变化[J]. 中国农业科学, 2007, 47(8): 1712-1721. [Li Zhongpei, WU Xiaochen, Chen Biyun. Soil organic carbon conversion and microbial community functional diversity changes under different utilization patterns[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 47(8): 1712-1721.]

[21] 薛冉. 生长早期小麦根际土壤养分及微生物对不同水分供应模式响应及其机制的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017. [Xue Ran. Study on the Response of Wheat Rhizosphere Soil Nutrients and Microbes to Different Water Supply Modes and Their Mechanisms in Early Growth[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.]

[22] 刘方春, 邢尚军, 马海林, 等. 干旱生境中接种根际促生细菌对核桃根际土壤生物学特征的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1475-1482. [Liu Fangchun, Xing Shangjun, Ma Hailin, et al. Effects of inoculating plant growth-promoting rhizobacteria on the biological characteristics of walnut (*Juglans regia*) rhizosphere soil under drought condition[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(5): 1475-1482.]

[23] Sanaullah M, Blagodatskaya E, Chabbi A, et al. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition[J]. Applied Soil Ecology, 2011, 48(1): 38-44.

[24] 陈娟. 干旱胁迫和外源ABA对生姜生长和根际效应的影响研究[D]. 成都: 四川大学, 2007. [Chen Juan. Effects of Drought Stress and Exogenous ABA Application on Growth and Rhizospheric Effects of Ginger[D]. Chengdu: Sichuan University, 2007.]

[25] 张科. 森林凋落叶分解受不同来源土壤和植物生长的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005. [Zhang Ke. Forest Litter Decomposition is Affected by Different Sources of Soil and Plant Growth[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.]

[26] 周来良. 干旱对根际土壤酶、氮磷钾及根部有机酸的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2009. [Zhou Lailiang. Effects of Drought Stress on Rhizosphere Enzyme, N, P, K and Root Organic Acid[D] Chongqing: Southwest University, 2009.]

[27] 陶佳. 断根与干旱对苹果幼树生长发育及根际环境的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015. [Tao Jia. Effect of Root Pruning and Drought on Growth and Rhizosphere of Young Apple Tree[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.]

[28] 朱利霞. 不同调控措施对旱作农田土壤碳氮及微生物学特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018. [Zhu Lixia. Effects of Different Control Measures on Soil Carbon, Nitrogen and Microbiological Characteristics of Dry Farmland[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018.]

[29] Rovira P, Vallejo V R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach[J]. Geoderma, 2002, 107(1-2): 109-141.

[30] 罗如熠, 张世熔, 徐小逊, 等. 黑河下游湿地土壤有机氮组分剖面的分布特征[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 956-964. [Luo Ruyi, Zhang Shirong, Xu Xiaoxun, et al. Profile distribution characteristics

of soil organic nitrogen fractions in the lower reaches of the Heihe River wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(4): 956–964.]

[31] 伏星舟, 王立, 杨彩红, 等. 不同耕作方式对绿洲区夏玉米农田土壤呼吸及酶活性的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 103–108. [Fu Xingzhou, Wang Li, Yang Caihong, et al. Effects of different cultivation on soil respiration and enzyme activity of summer maize in oasis region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 103–108.]

[32] 周学雅, 陈志杰, 耿世聪, 等. 氮沉降对长白山森林土壤团聚体内碳、氮含量的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(5): 1543–1552. [Zhou Xueya, Chen Zhijie, Geng Shicong, et al. Effects of nitrogen deposition on carbon and nitrogen contents in soil aggregates in temperate forests of Changbai Mountain, Northeast China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(5): 1543–1552.]

[33] Sparling G P. The Soil Biomass[J]. Springer Netherlands, 1985: 223–262.

Effects of water stress on rhizosphere organic nitrogen fractions and enzyme activities in the rhizosphere of delayed cultivation grape

YANG Changyu[1], ZHANG Rui[1], LIN Baojun[2], DONG Bo[3], GAO Yanting[1], LI Hongxia[1], ZHAGN Caixia[1], WANG Xihong[1]

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. Dayu Irrigation Group Co. , Ltd. , Jiuquan 735000, Gansu, China; 3. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: In order to explore the changes in the basic physical and chemical properties, enzyme activities and organic nitrogen components of the rhizosphere soil of protected grapes under different water stress conditions, and analyze the response relationship between them provide a certain reference basis for the establishment of a reasonable stress irrigation model for the delayed cultivation of grapes in the Hexi area of Gansu Province. Using a completely randomized test design based on a single water stress factor, the Bremner method was employed to determine the characteristics of the variation in organic nitrogen contents in the rhizosphere soil layer of the grapes during the ripening period, and the basic physical and chemical properties of the soil and soil enzyme activity during the whole growth period, under different water stresses (moderate W1, mild W2, and adequate W3 water supply). The results showed: (1) Moderate and mild water stress during the whole growth period had no significant effect on the total nitrogen, ammonium nitrogen, total phosphorus, organic matter, and organic carbon of the rhizosphere soil of the grapes under delayed cultivation, but the soil microbial biomass carbonand nitrogen contents were reduced. The contents of soil nitrate nitrogen and available phosphorus in the early stage of water stress were significantly lower than those observed in adequate water supply conditions. (2) Moderate and mild water stress had no significant effect on the activity of catalase in rhizosphere soil during the whole grape growth period, but showed different levels of inhibitory effects on the contents of urease and invertase in the fruit swelling and coloring stages. (3) The contents of organic nitrogen components in each treatment were present in the following order: non- acid hydrolysis nitrogen>acid hydrolysis amino acid nitrogen>acid hydrolysis ammonium nitrogen>acid hydrolysis unknown nitrogen>acid hydrolysis amino sugar nitrogen; both mild and moderate water stress contributed to the accumulation of total acid hydrolyzed nitrogen in the grapes' rhizosphere soil, which increased by 21.16% and 10.34%, respectively, compared with contrast. (4) Sucrase had a significant and positive correlation with microbial biomass carbon; RDA analysis showed that nitrate nitrogen and ammonium nitrogen were the most important environmental factors affecting the variation of soil organic nitrogen components, followed by total nitrogen.

Keywords: water stress; facility cultivation; basic physical and chemical properties; soil enzyme activity; organic nitrogen components